

Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel

Shizuo Maeda¹, Itamar Antonio Bognola¹

¹Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, km 111, CP 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil

*Autor correspondente:
shizuo.maeda@embrapa.br

Termos para indexação:

Cinza de madeira
Lama de cal
Lodo celulósico

Index terms:

Timber ash
Lime sludge
Cellulosic sewage sludge

Histórico do artigo:

Recebido em 01/08/2012
Aprovado em 06/05/2013
Publicado em 28/06/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.74.417

Resumo - A utilização de resíduos gerados nas indústrias de celulose e papel como insumo agrícola e florestal é uma alternativa para o problema de descarte, além de contribuir para a redução do custo da produção agrícola e florestal. No entanto, para o uso adequado e seguro desses resíduos, torna-se necessário conhecer seus efeitos em atributos químicos do solo. Foi avaliado o efeito de doses de carbonato de cálcio, cinza de biomassa florestal, lama de cal e lodos celulósicos em atributos químicos de um Neossolo Regolítico Distrófico húmico. O pH e os teores de Ca, Mg e P aumentaram com o aumento das doses testadas, enquanto o teor de Al e sua saturação reduziram com a aplicação de todos os materiais avaliados. Os teores de K aumentaram principalmente pela aplicação de cinzas de madeira. A relação Ca/Mg foi elevada pela aplicação de carbonato de cálcio, lama de cal e lodo celulósico a valores que podem ser prejudiciais. As cinzas foram importantes fontes de K, Ca, Mg e P.

Chemical properties of soil treated with waste from the pulp and paper industries

Abstract - The use of wastes generated in the pulp and paper industries as an input to agricultural and forestry is an alternative to the disposal problem, and contribute to reducing the cost of agricultural and forestry production. However, for proper and safe use of this waste, it is necessary to know its effects on soil chemical properties. The effect of doses of calcium carbonate, ash forest biomass, lime mud and cellulosic sludge in chemical attributes of a Dystrophic humic Entisol. The pH, exchangeable Ca, Mg and P increased with increasing doses, while the Al content and its saturation were reduced with the application of doses of all tested materials. The K levels increased mainly by wood ash. The Ca/Mg ratio was increased by the application of calcium carbonate, lime mud and sludge cellulosic to values that can be harmful. The ashes were important sources of K, Ca, Mg and P.

Introdução

Há um crescente interesse mundial pelos impactos ambientais associados com a indústria de base florestal, particularmente no setor de celulose e papel, bem como de formas para minimizar esses impactos (Kissinger et al., 2007). A geração de resíduos é uma das principais

fontes desses impactos, necessitando de medidas para mitigação dos mesmos. Nesse sentido, progresso expressivo tem sido alcançado nos últimos anos com o desenvolvimento e adoção de tecnologias mais eficientes na redução da quantidade e da toxicidade dos efluentes produzidos (Mahmood & Elliot, 2006). Apesar de todo processamento ao qual os efluentes são submetidos

(pré-tratamento seguido de um tratamento primário e secundário, ou mesmo um tratamento terciário), a geração de resíduos orgânicos e inorgânicos pelas indústrias de papel e celulose é expressiva. Tais resíduos são dispostos em aterros industriais, sendo essa alternativa onerosa na sua implementação, o que gera uma responsabilidade que pode se eternizar (Costa, 2009).

De acordo com Nolasco et al. (2000), a cada Mg de celulose produzida são gerados 0,15 Mg de resíduos de naturezas diversas. A estimativa de produção de celulose no ano de 2011 no Brasil foi de 14,00 milhões de Mg (Associação Brasileira de Celulose e Papel, 2012), o que permite estimar em 2,14 milhões de Mg a quantidade de resíduos gerados em 2011 pelas indústrias do setor de celulose e papel.

Conforme Nolasco et al. (2000), na composição média dos resíduos da produção de celulose e papel, as cascas representam 24%, a lama de cal 22%, os lodos 17%, *dregs e grits* 14% e as cinzas 11%. Esses percentuais podem variar uma vez que as cascas podem ser utilizadas em caldeiras para a geração de energia, resultando em maior quantidade de cinza gerada.

A cinza de biomassa florestal é um resíduo sólido resultante da combustão de madeira para geração de energia elétrica nas fábricas. As características químicas desse resíduo dependem: da matéria prima utilizada (espécie de planta, parte da planta – casca, madeira, folha), do uso de aditivos, da aplicação de pré-tratamentos, da tecnologia e da temperatura de combustão e do tempo e das condições de armazenamento, entre outros fatores (Etiegni & Campbell, 1991; Demeyer et al., 2001). Embora de composição química variável, em função dos fatores anteriormente mencionados, em geral, a cinza de biomassa possui teores consideráveis de Ca, K e Mg e teores mais baixos de P (Demeyer et al., 2001). A cinza de biomassa apresenta caráter alcalino, podendo proporcionar mudanças no pH do solo (Clapman & Zibilke, 1992).

A lama de cal é um resíduo gerado no processo de recuperação do licor de cozimento apresentando coloração cinza claro, sem odor característico. Embora variável, a lama de cal, apresenta teor elevado de Ca e poder relativo de neutralização total superior a 90%, o que a qualifica como excelente corretivo da acidez do solo (Bergamin et al., 1994).

Por sua vez, os resíduos do tratamento de efluentes líquidos representam grande parte do total de resíduos gerados em complexos de celulose e papel (Confederação Nacional da Indústria, 1989). Normalmente, por

questões econômicas, tais resíduos são adensados e desaguidos conjuntamente, porém, quando submetidos ao tratamento completo em três níveis, o lodo primário é constituído basicamente por areia e fibras não recuperadas; o lodo secundário por matéria orgânica; e o terciário por hidróxido de alumínio resultante do processo de floculação/absorção empregado para o abatimento de cor. Em conjunto, os lodos apresentam teores consideráveis de N, P e S.

As características químicas desses resíduos os qualificam como excelentes materiais para uso como corretivo da acidez do solo e fontes de nutrientes para plantios de espécies florestais, uma vez que, assim, pode se retornar ao sistema, parte dos nutrientes extraídos pela colheita da biomassa florestal, mantendo ou corrigindo a fertilidade do solo e a sustentabilidade dos ecossistemas florestais (Bellote et al., 1994; Guerrini et al., 1994; Vance, 1996).

Em geral, os maciços florestais são implantados em áreas com solos de baixa aptidão agrícola, pela sua topografia inadequada para cultivos motomecanizados e pela baixa fertilidade natural. Nesse contexto, a aplicação dos resíduos em áreas de plantios florestais pode constituir uma alternativa importante para a disposição dos resíduos, podendo solucionar um problema ambiental e legal de descarte, ao mesmo tempo em que contribui para a melhoria da fertilidade do solo e a reposição de nutrientes exportados com a colheita da biomassa florestal.

Apesar das semelhanças na composição química entre cada resíduo, existem diferenças quantitativas e qualitativas entre os mesmos, em função tanto no que se refere aos processos industriais quanto ao tratamento de efluentes e à composição química da matéria prima utilizada (Nolasco et al., 2000).

As diferenças apontadas fazem com que seja necessária a realização de estudos específicos com cada resíduo para verificar seus efeitos em características químicas do solo, o que foi o objetivo desse trabalho.

Material e métodos

O trabalho, conduzido em condições de laboratório na Embrapa Florestas, em Colombo, PR, constou da incubação, durante 210 dias, de amostras de um Neossolo Regolítico Distrófico húmico (Santos et al., 2006), cultivado com *Pinus taeda*, na região de Rio Negrinho, SC. As amostras foram coletadas na camada de 0 a 20 cm, com resíduos de indústrias de celulose e papel.

O solo, antes da aplicação dos tratamentos, analisado segundo Silva (1999), apresentou as seguintes características: pH em $\text{CaCl}_2 = 3,87$; $\text{Ca}^{+2} = 0,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{+2} = 0,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{K}^+ = 0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{+3} = 4,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H} + \text{Al} = 13,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{P} = 3,48 \text{ mg dm}^{-3}$; carbono orgânico = $27,77 \text{ g dm}^{-3}$; areia = $655,00 \text{ g kg}^{-1}$; silte = $104,00 \text{ g kg}^{-1}$ e argila = $241,00 \text{ g kg}^{-1}$.

Os tratamentos estudados consistiram de doses de carbonato de cálcio em formulação analítica (CC) e de resíduos gerados em indústrias de celulose e papel: lodo celulósico coletado em estação de tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de aparas de papel (LoRN) e cinza de madeira gerada em caldeira (CiRN), ambos coletados em indústria de reciclagem de papel em Rio Negrinho, SC; cinza de madeira gerada em caldeira (CiVB), coletada em fábrica de papel e celulose em Vargem Bonita, SC; lama de cal (LcVB) coletada na mesma indústria referida no tratamento CiVB; e lodo celulósico (LoPS), coletado na estação de tratamento de efluentes de indústria de celulose em Piraí do Sul, PR. Os resultados analíticos dos materiais utilizados no estudo encontram-se mencionados na Tabela 1.

As doses estudadas, calculadas visando promover a elevação da saturação por bases na capacidade de troca de cátions pH 7,0 a 20; 40; 60 e 80% (Raij, 1983), foram corrigidas em função do poder relativo de neutralização total (PRNT) de cada resíduo, além do tratamento sem aplicação dos resíduos. No caso do carbonato de cálcio

as doses corresponderam, respectivamente, a 0; 2,87; 6,55; 10,23 e 13,91 Mg ha^{-1} . As alíquotas dos resíduos correspondentes a cada dose foram aplicadas em 500 g do solo após a sua secagem e tamizagem em malha de 0,5 cm. Após aplicar e homogeneizar as alíquotas dos resíduos avaliados com o solo de cada tratamento, o material de cada parcela experimental foi acondicionado em recipiente de poliestireno com tampa. Para favorecer a reação dos resíduos com o solo, foi aplicada água destilada e deionizada em volume suficiente para manter o teor de umidade equivalente à capacidade de campo. Durante o período de incubação (210 dias), para evitar as possíveis interferências da germinação de sementes eventualmente presentes no solo, os recipientes com o solo foram mantidos em ausência de luz em condição ambiental de laboratório. Após a incubação, o material correspondente a cada parcela experimental foi seco em estufa a $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Em seguida, foram determinados o pH em CaCl_2 , os teores de Ca, Mg, K, Al, H + Al e P, conforme Silva (1999), calculadas a soma de bases, a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, a saturação por bases na CTC a pH 7,0 e a relação Ca/Mg. Os dados obtidos foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e, quando significativo ($p = 5\%$), as médias das variáveis estudadas foram comparadas adotando-se o teste Scott-Knott no mesmo nível de significância. As análises foram feitas considerando os efeitos dos produtos/resíduos em cada nível de saturação por bases.

Tabela 1. Características químicas dos resíduos utilizados no estudo.

Variável	Resíduos *					
	CC	CiRN	CiVB	LcVB	LoRN	LoPS
pH em H_2O	-	11,20	10,71	12,90	8,60	7,10
Ca (g kg^{-1})	476,19	208,63	264,90	376,40	150,04	5,10
Mg (g kg^{-1})	0,00	46,17	67,70	0,00	1,76	1,30
K (g kg^{-1})	0,00	107,73	119,10	0,00	0,14	0,39
P total (g kg^{-1})	0,00	53,80	62,30	0,00	2,30	1,20
Al (g kg^{-1})	0,00	143,37	146,30	0,00	13,30	83,67
PRNT (%)**	100	23	18	94	23	2

* CC = carbonato de cálcio; CiRN = cinza de madeira coletada em Rio Negrinho, SC; CiVB = cinza de madeira coletada em Vargem Bonita, SC; LcVB = lama de cal coletada em Vargem Bonita, SC; LoRN = lodo celulósico da reciclagem de papel coletado em Rio Negrinho, SC; LoPS = lodo celulósico de fábrica de celulose coletado em Piraí do Sul, PR. **poder relativo de neutralização total.

Resultados e discussão

pH em CaCl_2

Ao final do período de incubação, o pH CaCl_2 do tratamento sem aplicação de produto/resíduos foi de 3,87. Foram observadas diferenças significativas no efeito dos materiais estudados nos níveis de saturação por bases, embora as diferenças no valor do pH, quando existentes, tenham sido pequenas (Figura 1), o que provavelmente se deve ao elevado tamponamento do solo utilizado ($\text{H} + \text{Al} = 13,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os efeitos observados devem-se à capacidade dos resíduos de neutralização da acidez do solo, indicado pelo poder relativo de neutralização total (PRNT) (Tabela 1). Em geral, as cinzas de madeira apresentam poder neutralizante da acidez devido à presença de quantidades significativas de carbonatos, hidróxidos e silicatos de cálcio, magnésio, potássio e sódio (Vance, 1996; Demeyer et al., 2001). No caso da cinza utilizada nesse estudo, o PRNT da CiRN é de 23% e da CiVB de 18%, sendo as doses aplicadas corrigidas para 100% de PRNT. Por sua vez, a lama de cal é um resíduo composto basicamente por carbonato de cálcio (Lourenço, 1997), enquanto os lodos de fábrica de celulose apresentam hidróxidos (Confederação Nacional da Indústria, 1989). Em aparas de papel reciclado

podem estar presentes materiais como o carbonato de cálcio, caulim, gesso e cola (Luz et al., 2005; Monteiro et al., 2008), utilizados no acabamento do papel para impressão e outras finalidades, atribuindo características ao lodo resultante do tratamento de efluentes que o potencializam como insumo agroflorestral. Como resultado da solubilização de compostos presentes nos resíduos, prótons presentes na solução do solo e ligados nas cargas negativas do solo são neutralizados por íons hidroxilas formados (Saarsalmi et al., 2006).

Alumínio trocável

Concomitantemente com a redução da acidez, observou-se a redução nos teores de Al^{+3} com a aplicação de doses de todos os resíduos (Figura 2). Nas maiores doses o Al^{+3} foi praticamente neutralizado em resposta à aplicação dos materiais. Os efeitos observados na acidez e nos teores de Al^{+3} devem-se às reações químicas dos componentes alcalinos presentes nos resíduos, liberando íons OH^- pela hidrólise da água, a acidez ativa do solo (H^+ presentes na solução) medida pelo pH é neutralizada, bem como o alumínio trocável que é precipitado na forma $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Sousa et al., 2007). Segundo os mesmos autores, o alumínio na forma de oxihidróxido não é prejudicial ao desenvolvimento de culturas sensíveis ao elemento.

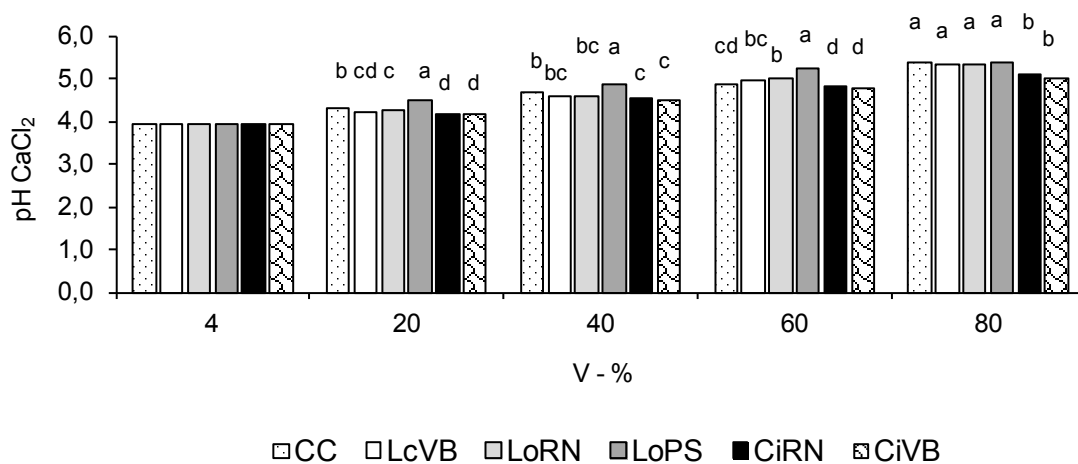


Figura 1. Relações entre pH CaCl_2 e doses de carbonato de cálcio – CC; lama de cal oriunda de fábrica de celulose de Vargem Bonita – LcVB; lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de papel - LoRN; lodo resultante do tratamento de efluentes de indústria de celulose – LoPS; cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia de Rio Negrinho – CiRN e cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia em Piraí do Sul – CiPS. Doses estimadas com base na saturação de bases – V% a ser atingida. Colunas com letras iguais, em cada nível de saturação por bases, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

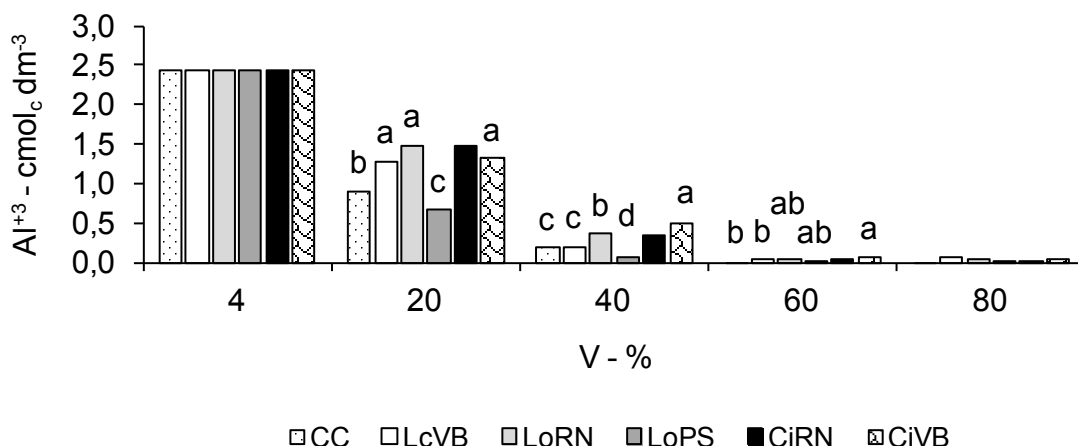


Figura 2. Relações entre teores médios de Al_{+3} e doses de carbonato de cálcio – CC; lama de cal oriunda de fábrica de celulose de Vargem Bonita – LcVB; lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de papel - LoRN; lodo resultante do tratamento de efluentes de indústria de celulose – LoPS; cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia de Rio Negrinho – CiRN e cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia em Pirai do Sul – CiPS. Doses estimadas com base na saturação de bases – V% a ser atingida. Colunas com letras iguais, em cada nível de saturação por bases, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância

Cátions trocáveis

Todos os materiais avaliados aumentaram significativamente os teores de Ca^{+2} (Figura 3). Para esse nutriente, resultados mais expressivos foram observados com a aplicação de doses de CC, LcVB e LoRN, seguidos pelas cinzas. Os aumentos menos expressivos foram observados com a aplicação LoPS. Esses resultados podem ser explicados pelos teores de cálcio presentes nos materiais estudados, onde se pode observar que o LoPS apresenta o menor teor de Ca (Tabela 1), o que explica o menor efeito observado no teor do elemento no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Balbinot Jr. et al., (2006) em estudo conduzido para avaliar o efeito do lodo da reciclagem de papel; por Lourenço (1997), avaliando o efeito da lama de cal e por Saarsalmi et al. (2006) e Cabral et al. (2008) com a aplicação de cinza de biomassa florestal para avaliação das características químicas do solo.

Com relação ao Mg^{+2} (Figura 4), os maiores teores foram observados com a aplicação de CiRN seguido por CiVB e LoPS, como resultado dos maiores teores do elemento presentes nos mesmos (Tabela 1). Os menores teores foram observados com as aplicações de CC, LcVB e LoRN, em razão da ausência do elemento no CC e baixos teores nos LcVB e LoRN (Tabela 1).

Resultados semelhantes foram obtidos por Balbinot Jr. et al., (2006) avaliando o efeito do lodo da reciclagem de papel e por Saarsalmi et al., (2006) e Cabral et al., (2008), avaliando o efeito de cinza de biomassa florestal em características química do solo.

As aplicações de LoRN, CC e LcVB resultaram em aumentos nas razões da relação Ca:Mg (Figura 5), ao contrário do observado com a aplicação das cinzas e de LoPS, que resultaram em razões mais equilibradas da relação Ca:Mg, o que se deve à presença de ambos os nutrientes nas cinzas e no LoPS. Resultados semelhantes foram obtidos por Balbinot Jr. et al., (2006) em estudo conduzido para avaliar o efeito do lodo da reciclagem de papel em características químicas do solo.

No caso do K^{+} , os maiores teores foram observados com a aplicação das cinzas, com destaque para CiRN seguido pelo CiVB. O LoPS também promoveu aumentos expressivos no teor de K (Figura 6), sendo esse efeito explicável pelos teores do K presente nos compostos estudados (Tabela 1). As cinzas apresentam teores expressivos de K (120 g kg^{-1}), o que explica os resultados observados com a aplicação desses resíduos (Tabela 1 e Figura 6). O CC e a LcVB não apresentam K em sua composição, enquanto os teores K^{+} nos lodos LoRN e LoPS são reduzidos. No caso do efeito das cinzas,

Saarsalmi et al. (2006) e Cabral et al. (2008) encontraram resultados semelhantes ao observado nesse trabalho, enquanto Balbinot Jr. et al. (2006), encontraram redução no teor de K pelo efeito da aplicação do lodo da reciclagem

de papel, sem apresentar justificativa para o fato, o que pode estar relacionado com o local de coleta da amostra analisada. Nesse caso o K pode ter sido lixiviado para camadas mais profundas do vaso utilizado no estudo.

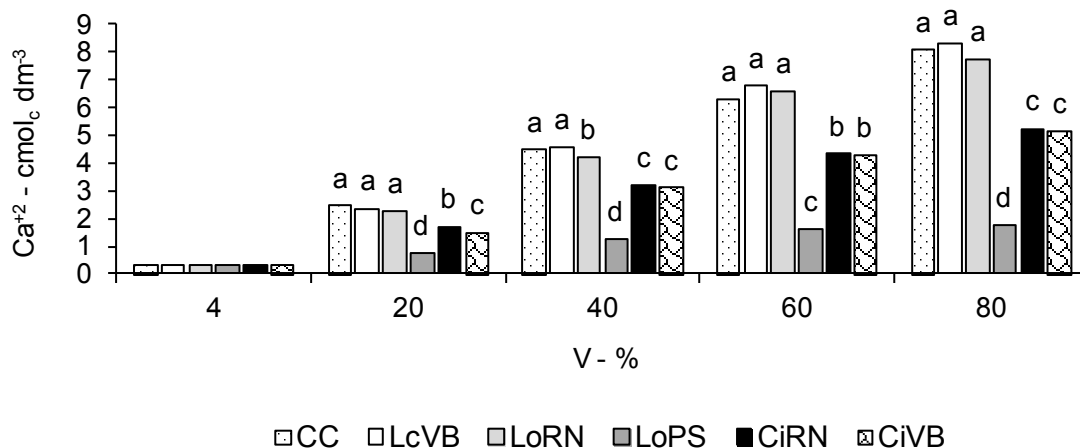


Figura 3. Relações entre teores de Ca^{+2} e doses de carbonato de cálcio – CC; lama de cal oriunda de fábrica de celulose de Vargem Bonita – LcVB; lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de papel - LoRN; lodo resultante do tratamento de efluentes de indústria de celulose – LoPS; cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia de Rio Negrinho – CiRN e cinza de biomassa gerada em caldeira auxiliar de geração de energia em Pirai do Sul – CiPS. Doses estimadas com base na saturação de bases – V% a ser atingida. Colunas com letras iguais, em cada nível de saturação por bases, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

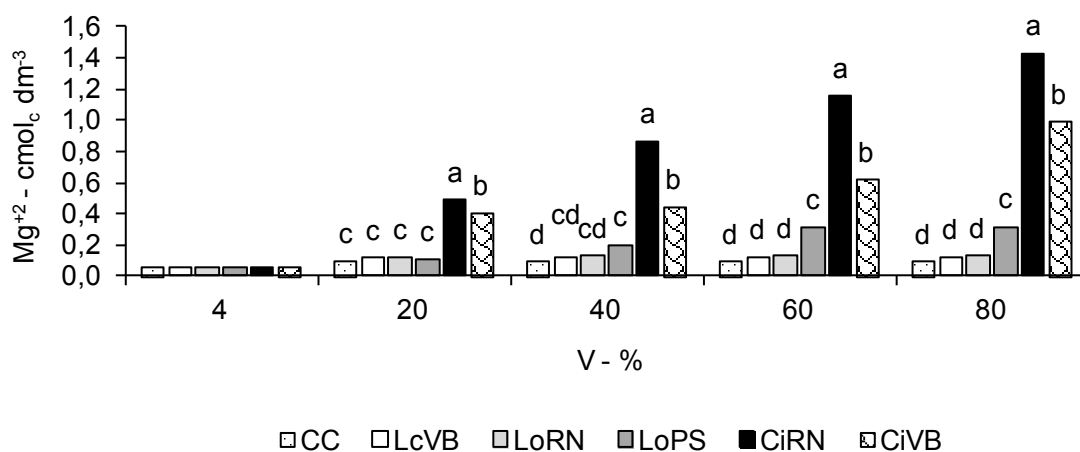


Figura 4. Relações entre teores de Mg^{+2} e doses de carbonato de cálcio – CC; lama de cal oriunda de fábrica de celulose de Vargem Bonita – LcVB; lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de papel - LoRN; lodo resultante do tratamento de efluentes de indústria de celulose – LoPS; cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia de Rio Negrinho – CiRN e cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia em Pirai do Sul – CiPS. Doses estimadas com base na saturação de bases – V% a ser atingida. Colunas com letras iguais, em cada nível de saturação por bases, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

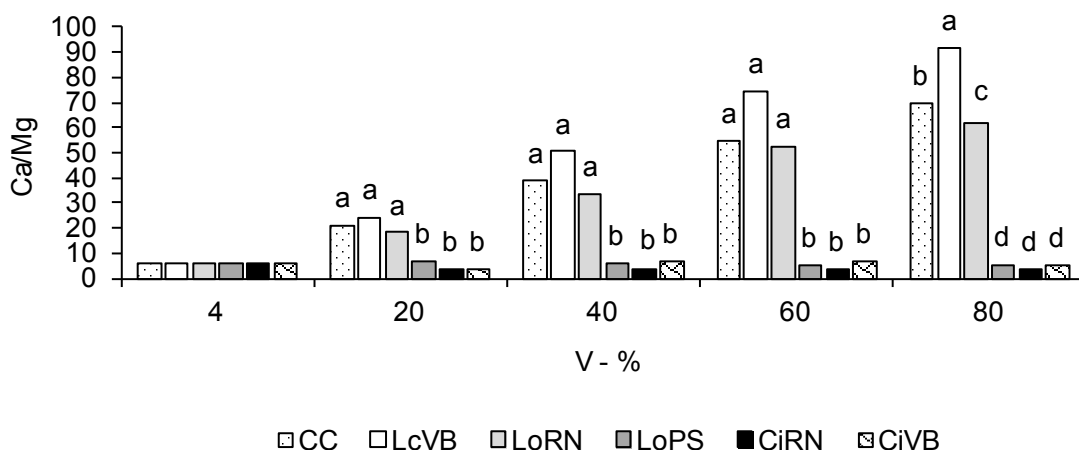


Figura 5. Relações entre valores de razões da relação Ca:Mg e doses de carbonato de cálcio – CC; lama de cal oriunda de fábrica de celulose de Vargem Bonita – LcVB; lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de papel - LoRN; lodo resultante do tratamento de efluentes de indústria de celulose – LoPS; cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia de Rio Negrinho – CiRN e cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia em Pirai do Sul – CiPS. Doses estimadas com base na saturação de bases – V% a ser atingida. Colunas com letras iguais, em cada nível de saturação por bases, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

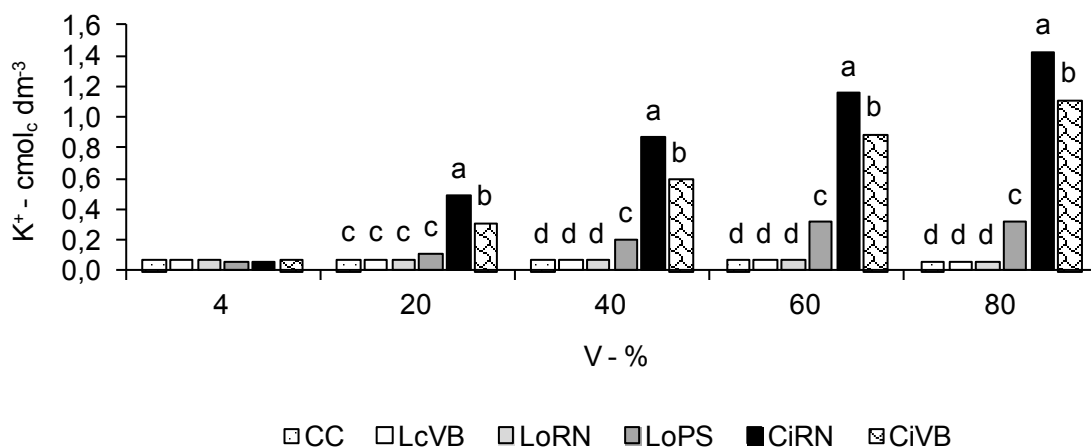


Figura 6. Relações entre teores K⁺ e doses de carbonato de cálcio – CC; lama de cal oriunda de fábrica de celulose de Vargem Bonita – LcVB; lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de papel - LoRN; lodo resultante do tratamento de efluentes de indústria de celulose – LoPS; cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia de Rio Negrinho – CiRN e cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia em Pirai do Sul – CiPS. Doses estimadas com base na saturação de bases – V% a ser atingida. Colunas com letras iguais, em cada nível de saturação por bases, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Teores de Fósforo

Os teores de P foram mais expressivos com a aplicação da cinza CiVB seguido da cinza CiRN (Figura 7). Os expressivos aumentos observados nos teores de P, resultantes da aplicação das cinzas de madeira, devem-se

à liberação do P presente na composição das mesmas (Tabela 1). Cabral et al. (2008) e Silva et al. (2009), em estudo conduzido para avaliar o efeito de cinza de biomassa florestal sobre características químicas do solo, observaram aumentos nos teores de fósforo.

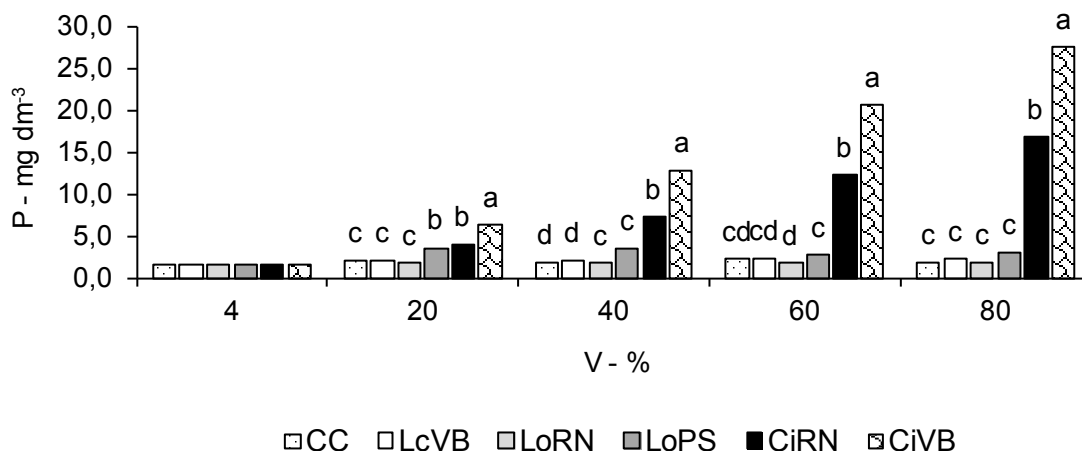


Figura 7. Relações entre teores de P e doses de carbonato de cálcio – CC; lama de cal oriunda de fábrica de celulose de Vargem Bonita – LcVB; lodo celulósico resultante do tratamento de efluentes de indústria de reciclagem de papel; lodo resultante do tratamento de efluentes de indústria de celulose – LoPS; cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia de Rio Negrinho – CiRN e cinza de madeira gerada em caldeira auxiliar de geração de energia em Piraí do Sul – CiPS. Doses estimadas com base na saturação de bases – V% a ser atingida. Colunas com letras iguais, em cada nível de saturação por bases, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Conclusões

Todos os resíduos estudados diminuem a acidez e os teores de alumínio. As cinzas são mais efetivas como fontes de magnésio, potássio e fósforo, enquanto a lama de cal e o lodo celulósico da reciclagem de papel são mais efetivos como fonte de cálcio. A lama de cal e o lodo da reciclagem de papel aumentam expressivamente a razão Ca/Mg.

As cinzas podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, apresentando vantagens sobre esses por disponibilizarem, além de Ca e Mg, os nutrientes K e P.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Balancço 2011 do setor**. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/bra2>>. Acesso em: 03 fev. 2012.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, A. N. L.; FONSECA, J. A. da; TEIXEIRA, J. R.; NESI, C. N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 5., n. 11, p. 16-25, 2006.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais...]. Botucatu:

BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, E. Resíduo de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais]. Botucatu: UNESP. Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 97-120.

CABRAL F.; RIBEIRO, H. M.; HILÁRIO, L.; MACHADO, L.; VASCONCELOS, E. Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials. *Bioresource Technology*, Essex, v. 99, p. 8294-8298, 2008.

- CLAPMAN, W. M.; ZIBILKE, L. M. Wood ash as a liming amendment. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 11 e 12, p. 1209-1227, 1992.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Gerenciamento de resíduos em complexos integrados de papel e celulose**. Rio de Janeiro: CNI/DAMPI, Divisão de Tecnologia Industrial. 1989. 40 p.
- COSTA, E. R. de O. **Alterações químicas no solo e na água de percolação após aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em *Pinus taeda* L.** 2009. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DEMEYER, A.; VOUNDI NKANA, J. C.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, p. 287-295, 2001.
- ETIEGNI, L.; CAMPBELL, A. G. Physical and chemical characteristics of wood ash. **Bioresource Technology**, Essex, v. 37, p. 173-178, 1991.
- GUERRINI, I. A.; VILLAS BOAS, R. L.; BÜLL, L. T.; EIRA, A. F. da; PENATTI, A.; TOLEDO, C. M.; MATSUMOTO, K.; MACHADO, R. W.; MELLO, S. L. M. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. **Científica**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 43-51, 1994.
- KISSINGER, M.; FIX, J.; REES, W. E. Wood and non wood pulp production: comparative ecological foot printing on Canadian prairies. **Ecological Economics**, New York, v. 62, p. 552-558, 2007.
- LOURENÇO, R. S. Curvas de neutralização de solo com lama de cal, comparada com CaCO₃ p.a. e calcário. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p.49-57, jul./dez. 1997
- LUZ, A. B. da; CAMPOS, A. R. de; CARVALHO, E. A. de; BERTOLINO, L. C. Caulim. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (Ed.). **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p. 231-262.4
- MAHMOOD, T.; ELLIOT, A. A review of secondary sludge reduction Technologies for the pulp and paper industry. **Water Research**, Halliolford, v. 40, p. 2093-2112, 2006.
- MONTEIRO, D. A.; IAROSZ, K. C.; MARQUES, R. G.; BRINATTI, A. M. Substituição do Caulim por carbonato de cálcio no processo industrial do papel. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 4., 2008. [Anais eletrônicos...]. Ponta Grossa: AEAPG, 2008. Disponível em: <http://www.4eetcg.uepg.br/oral/32_1.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2007.
- NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Org.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF. 2000, p. 385-414.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, Potafos, 1991. 343 p.
- SAARSALMI, A.; KUKKOLA, M.; MOILANEN, M.; AROLA, M. Long-term effects of ash and N fertilization on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scot pine stand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 235, p. 116-128, 2006.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. da (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 627 p.
- SILVA, F. R. da; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; MARANGONI, J. M. Cinza de biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do planalto catarinense e em plantas e eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 6, p. 475-482, nov./dez. 2009.
- SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N de; OLIVEIRA, S. A. de. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- VANCE, E. Land application of wood-fired and combination boiler ashes: an overview. **Journal of Environmental Quality**, v. 25, p. 937-944, 1996.

